



بررسی اثر درصد وزنی خاکهای ریزدانه در توده خاکهای درشت دانه بر روی نرخ تغییرات وزن مخصوص خشک حداکثر

مهراب جسمانی^۱، آیدین نصیری منش^۲

۱- دکترای مهندسی عمران - دانشکده مهندسی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

۲- کارشناس ارشد خاک و پی - دانشکده مهندسی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

aidin_manesh@yahoo.com

خلاصه

تراکم، یکی از روشهای بهبود باعث بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی خاکها می باشد. از آنجا که مقاومت خاک رابطه مستقیمی با درجه تراکم ذرات آن و در نتیجه وزن واحد حجم یا دانسیته آن دارد، لذا مسئله افزایش دانسیته خاک با روشهای مختلف یکی از مسائل مهمی است که در مکانیک خاک مورد بررسی قرار می گیرد. یک مطالعه آزمایشگاهی برای بررسی نحوه تغییرات وزن مخصوص خشک حداکثر خاکهای درشت دانه، در اثر افزودن خاکهای ریزدانه صورت پذیرفت. مطالعات در انرژیهای تراکمی استاندارد و اصلاح شده انجام گرفت. بر اساس مطالعات صورت گرفته با افزایش میزان ریزدانه موجود در مخلوط، وزن مخصوص خشک حداکثر افزایش می یابد. افزایش وزن مخصوص خشک حداکثر تا یک مقدار بهینه ای از درصد ریزدانه موجود در مخلوط می باشد. با افزایش بیشتر میزان ریزدانه ها این وزن مخصوص خشک حداکثر کاهش می یابد. در این مقاله، نمودارهای مختلف که نحوه تغییرات وزن مخصوص خشک حداکثر با تغییر میزان ریزدانه ها در انرژیهای مختلف را نشان می دهد آورده شده است. با استفاده از این نمودارها می توان وزن مخصوص خشک حداکثر را تعیین نمود.

کلمات کلیدی: وزن مخصوص خشک حداکثر، خاک ریزدانه، خاک درشت دانه، انرژی تراکمی

مقدمه

برای احداث خاکریز شاهراهها، سدهای خاکی و سایر سازه های متعدد با استفاده از خاکریزها، خاک موجود باید متراکم شود تا وزن مخصوص آن افزایش یابد. تراکم عملی است که باعث بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی خاکها می شود. با توجه به گستردگی دانه بندی و خواص مکانیکی خاکها، اکثر محققان سعی داشته اند بر روی ویژگیهای یک دانه بندی خاص مطالعه کنند [۱]. محققان متعدد (جومیکس (۱۹۵۸)، هیلف (۱۹۵۶)، رینگ و همکاران (۱۹۶۲)، رامیه و همکاران (۱۹۷۰)، وانگ و هونگ (۱۹۸۴))، روشهایی برای تخمین وزن مخصوص خشک حداکثر خاکهای رسی توصیف کرده اند. در اکثر این روشها از ویژگیهای روانی و خمیری برای تخمین وزن مخصوص خشک حداکثر در انرژی تراکم مورد نظر استفاده شده است [۲ و ۳ و ۴ و ۵]. بوتول (۱۹۶۱)، رابطه خطی بین وزن مخصوص خشک حداکثر (γ_{dmax}) و لگاریتم در پایه ۱۰ انرژی تراکم ($\log E$) بدست آورد. آزمایشهای او بر پایه رفتار مشاهده شده در ماسه لای دار خوب دانه بندی میکادار بود. با بررسی داده های ثبت شده از آزمایشهای متعدد برای خاکهای رسی مشخص شد، رابطه خطی بین وزن مخصوص خشک حداکثر با لگاریتم انرژی وجود دارد [۶]. بلوتز، بنسون و بوتول (۱۹۹۸) روش تجربی و آزمایشگاهی ساده ای برای تخمین وزن مخصوص خشک حداکثر (γ_{dmax}) خاکهای رسی در انرژیهای تراکمی مختلف پیشنهاد کردند. آنها در روش خود با استفاده از حد روانی به تنهایی و یا حد روانی همراه با منحنی تراکم، وزن مخصوص خشک حداکثر را تخمین زدند. [۷]. در ادامه این مطالعات و با توجه به مرغوبیت و اولویت بکارگیری خاکهای درشت دانه شنی با رس قابل توجه مانند GC که به دلیل داشتن شن دارای مدول برشی بالا و نیز با داشتن رس دارای نفوذپذیری پایین هستند و در سدهای خاکی همگن و غیرهمگن به عنوان اولویت اول بدنه و هسته بکار می روند؛ روند تحقیقاتی محققین به سمت ارزیابی رفتار تراکمی این خاکها سوق پیدا کرده است.

^۱ استادیار
^۲ دانشجو

**معرفی مصالح و روش تراکم**

خاک مورد استفاده در این تحقیق یک خاک درشت دانه شنی بود. به این خاک درشت دانه، درصدهای متفاوتی از خاکهای ریزدانه اضافه شد. خاک ریزدانه مورد استفاده خاک رس بود. با توجه به مقادیر مورد نیاز در هر مخلوط تراکم، مقادیر متفاوتی از شن و رس انتخاب شد. در انتخاب نمونه های شن، ماسه و رس سعی شد از نمونه های تیپیک و معمول که دارای ویژگیهای منحصر بفردی نیستند استفاده شود [۸]. در جدول (۱) مشخصات فیزیکی و خمیری خاکهای بکار رفته بیان شده است. تمامی آزمایشهای بر اساس استاندارد ASTM انجام شد. با توجه به نتایج آزمایشهای دانه بندی و وجود یک دانه بندی منفصل بین شن و رس و بمنظور تراکم بهتر مخلوطها، از درصد ثابتی از ماسه در تمامی مخلوط ها استفاده شد. درصدهای متفاوت شن و ماسه و رس در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و خمیری خاکهای درشت دانه و ریزدانه

حد روانی	حد خمیری	شاخص خمیری	وزن مخصوص نسبی	درصد جذب آب
۲۲/۸	۱۴/۷۸	۸/۰۲	۲/۷۴	--
--	--	--	۲/۵۳	۱/۱۹

جدول ۲- مشخصات دانه بندی خاکهای مورد آزمایش

مخلوط	درصد رد شده از الک (میلیمتر)								
	۲۰۰	۴۰	۲۰	۸	۴/۷۵	۹/۵	۱۲/۵	۱۹	۲۵
A	۳	۳	۹	۱۶	۲۳	۴۲/۲۵	۶۱/۵	۸۰/۷۵	۱۰۰
B	۸	۸	۱۴	۲۱	۲۸	۴۶	۶۴	۸۲	۱۰۰
C	۱۵	۱۵	۲۱	۲۸	۳۵	۵۱/۲۵	۶۷/۵	۸۲/۷۵	۱۰۰
D	۲۵	۲۵	۳۱	۳۸	۴۵	۵۸/۷۵	۷۲/۵	۸۶/۲۵	۱۰۰
E	۳۵	۳۵	۴۱	۴۸	۵۵	۶۶/۲۵	۷۷/۵	۸۸/۷۵	۱۰۰
F	۴۵	۴۵	۵۱	۵۸	۶۵	۷۳/۷۵	۸۲/۵	۹۱/۲۵	۱۰۰

بر روی مخلوطهای بدست آمده طبق دانه بندی ذکر شده آزمایش تراکم صورت گرفت. برای استاندارد کردن آزمایشهای تراکم، از استاندارد ASTM D1557-91 و D698-91 استفاده شده است. با توجه به دانه بندی منتخب برای آزمایش تراکم، روش استفاده شده در آزمایش تراکم، روش C استاندارد ASTM می باشد [۹].

آزمایشهای تراکم صورت گرفته شامل چهار آزمایش تراکم با انرژی متفاوت بودند. این آزمایشها شامل انرژی کمتر از پراکتور استاندارد، پراکتور استاندارد، کمتر از پراکتور اصلاح شده و پراکتور اصلاح شده بودند.

آزمایش با انرژی کمتر از پراکتور استاندارد همانند آزمایش پراکتور استاندارد بود. با این تفاوت که به جای ۵۶ ضربه در هر لایه (استاندارد ASTM روش C) از ۳۵ ضربه استفاده شد. آزمایش با انرژی کمتر از پراکتور اصلاح شده همانند آزمایش پراکتور اصلاح شده بود با این تفاوت که به جای ۵۶ ضربه چکش تراکم، از ۲۵ ضربه استفاده شد. مشخصات آزمایش های تراکم انجام شده در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳. مشخصات آزمایشهای تراکم انجام شده

نوع آزمایش تراکم	تعداد ضربه	تعداد لایه	مقدار انرژی KN-m/m ³
کمتر از پراکتور استاندارد (RP)	۳۵	۳	۳۷۰
پراکتور استاندارد (SP)	۵۶	۳	۵۹۰
کمتر از پراکتور اصلاح شده (RMP)	۲۵	۵	۱۲۰۰
پراکتور اصلاح شده (MP)	۵۶	۵	۲۶۸۰

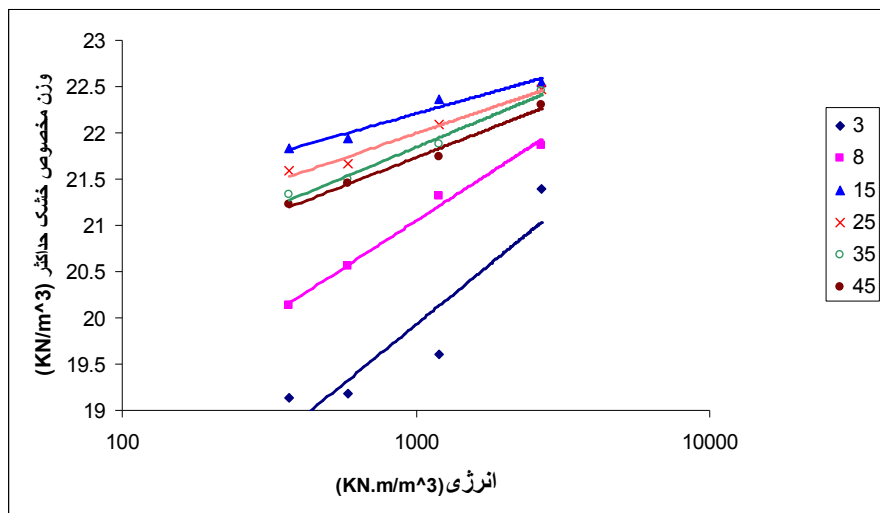


بررسی نتایج آزمایشات

در این قسمت اثر پارامترهای مختلف بر روی حداکثر وزن مخصوص خشک مخلوطها مورد بررسی قرار می گیرد.

تأثیر انرژی تراکم بر روی حداکثر وزن مخصوص خشک

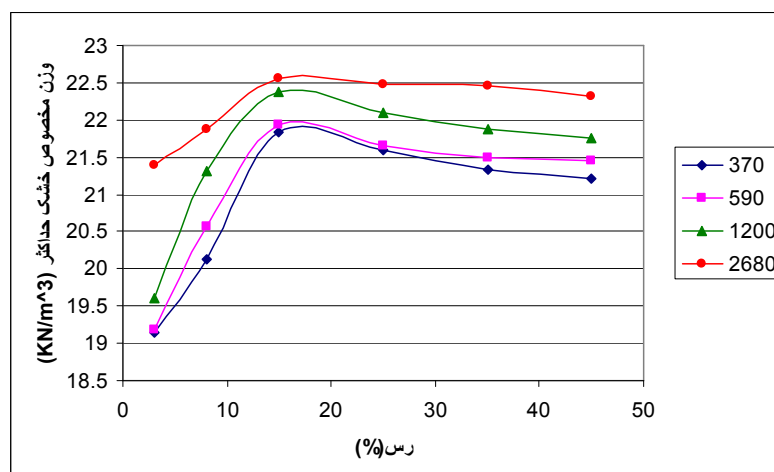
طبق بررسیهای صورت گرفته و نگاهی به مطالعات محققان، بین انرژی تراکم در مقابل حداکثر وزن مخصوص خشک یک رابطه لگاریتمی وجود دارد. در شکل (۱) تغییرات وزن مخصوص خشک حداکثر در مقابل انرژی تراکم در مقیاس نیمه لگاریتمی نشان داده شده است. در این شکل نمودار حداکثر وزن مخصوص خشک در مقابل لگاریتم انرژی تراکم بخوبی دیده می شود. بطوریکه از شکل (۱) مشاهده می شود با افزایش انرژی تراکم، وزن مخصوص خشک حداکثر افزایش می یابد. در درصدهای کم مقدار رس، افزایش وزن مخصوص در مقابل افزایش انرژی با شیب تندتری صورت می گیرد. زیرا انرژی تراکمی بالا موجب شکست دانه ها درشت شن در این نوع مخلوطها می شود، در نتیجه حفرات بین دانه های شن توسط ذرات شکسته ریز پر شده و حداکثر وزن مخصوص خشک بطور قابل توجهی بالا می رود [۱۰].



شکل ۱. نمودار رشد وزن مخصوص خشک حداکثر در مقابل انرژی تراکم برای شش نوع مخلوط در مقیاس نیمه لگاریتمی

تأثیر رس

در شکل (۲) نحوه تغییرات حداکثر وزن مخصوص خشک با افزایش مقدار رس در انرژی های تراکمی مختلف نشان داده شده است.



شکل ۲. تغییرات وزن مخصوص خشک حداکثر با مقدار رس در انرژیهای مختلف



با بررسی دقیق نمودار حداکثر وزن مخصوص خشک- درصد رس، مشاهده می شود در تمام انرژی های تراکم نقطه بهینه حداکثر وزن مخصوص خشک ما بین مقدار رس ۱۵-۲۰ درصد می باشد. آنچه که از بررسی نمودار حداکثر وزن مخصوص در برابر درصد رس می توان مشاهده کرد اینست که در هر چهار انرژی تراکم قسمت اول منحنی با شیبی تند تا رسیدن به به مقدار رس ۱۵-۲۰ درصد صعود می کند و بعد از این محدوده نمودار سیر نزولی و با شیب کند به خود می گیرد.

مروری بر شکل (۲) نشان می دهد که یک درصد بهینه ای از مقدار رس به ازای انرژیهای متفاوت وجود دارد که در آن حداکثر وزن مخصوص خشک بدست می آید. در انرژیهای کم مانند انرژی کمتر از استاندارد (370 kn-m/m^3) اثر این مقدار رس بهینه بارزتر است. ولی در انرژیهای بالا که در اکثر کارهای اجرایی با آن سرو کار داریم این اثر کم رنگتر می شود. در انرژیهای کم، رس موجود در مخلوط نقش پرکنندگی حفرات موجود در بین ذرات درشت دانه را دارد، در نتیجه ابتدا با افزایش مقدار رس، حداکثر وزن مخصوص خشک افزایش می یابد. از یک درصد مطلوبی به بعد با افزایش مقدار رس، دافعه بین صفحات رسی مانع تراکم بهینه می شود؛ همچنین با افزایش بیشتر ریزدانه ها، دانه های درشت شن بصورت دور از هم قرار می گیرند و ساختمان خاک از حالت نیمه شناور به حالت شناور که در آن دانه های درشت شن بطور مجزا و دور از هم قرار گرفته و دور تا دور آنها را خمیر چسبان (رس) فرا گرفته تبدیل می شوند. در نتیجه حداکثر وزن مخصوص خشک کاهش می یابد. در انرژیهای بالا به علت وجود نیروی تراکمی بالا اثر این درصد بهینه مقدار رس کم رنگتر می باشد. به نظر می رسد نیروی تراکمی بالا نقش موثرتری در بدست آمدن حداکثر وزن مخصوص خشک بالا ایفا می کند [۱۰].

روابط ریاضی

مدلهای آماری مختلفی برای بررسی همبستگی وزن مخصوص خشک حداکثر و مقدار رطوبت بهینه به پارامترهای تاثیر گذار مورد بررسی قرار داده شد. از بین این مدلها، مدل و رابطه ای که دارای دقت بالا و بیان کننده رفتار خاک در حین تراکم بود انتخاب شد. با توجه به نمودارهای نشان داده شده، روابط ریاضی برای تخمین وزن مخصوص خشک حداکثر بیان شد. معادله زیر برای تخمین وزن مخصوص خشک حداکثر بیان شده است. این معادله رابطه بین حداکثر وزن مخصوص خشک و لگاریتم انرژی را بصورت خطی بیان می کند.

$$\gamma_{d \max} = a \ln E + b \quad (۱)$$

a شیب خط

b عرض از مبدأ

$\gamma_{d \max}$ بر حسب کیلونیوتن بر متر مکعب

E بر حسب کیلو نیوتن متر بر متر مکعب می باشد

بر اساس مطالعات و تحلیلهای ریاضی صورت گرفته ضرایب a و b وابسته به مقدار رس موجود در مخلوط می باشند. در شکل (۳) نسبت تغییرات ضریب a در مقابل مقدار رس نشان داده شده است. همانطور که پیداست منحنی لگاریتمی را می توان برای تخمین ضریب a بکار برد. معادله زیر همبستگی بین ضریب a و مقدار رس را نشان می دهد.

$$a = -0.23 \ln(\text{clay}\%) + 1.30 \quad (۲)$$

شکل (۴) تغییرات ضریب b در مقابل مقدار رس را نشان می دهد. با استفاده از منحنی لگاریتمی رابطه زیر را می توان برای تخمین ضریب b بکار برد.

$$b = 2.31 \ln(\text{clay}\%) + 10.53 \quad (۳)$$

با ترکیب معادله های (۱) تا (۳)، معادله زیر را می توان برای تخمین وزن مخصوص خشک حداکثر بکار برد.

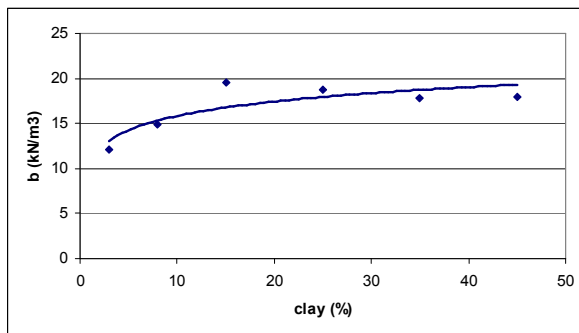
$$\gamma_{d \max} = [1.30 - 0.23 \ln(\text{clay}\%)] \ln(E) + 2.31 \ln(\text{clay}) + 10.53 \quad (۴)$$

در شکل (۵) رابطه بین حداکثر وزن مخصوص خشک و مقدار رس موجود در مخلوطها با استفاده از معادله (۴) و بر اساس انرژیهای تراکمی مختلف نشان داده شده است.

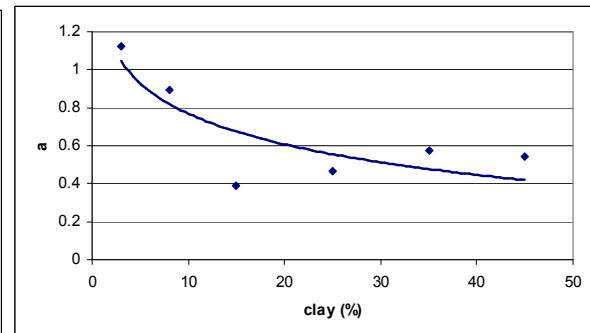


جدول ۴. مشخصات خاکهای استفاده شده برای بدست آوردن روابط

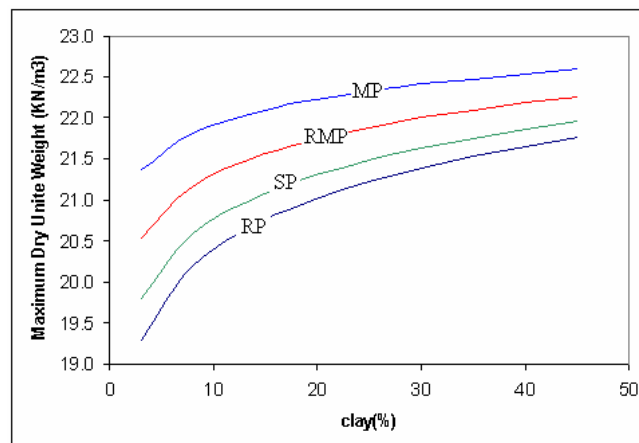
معادله (۱)			انرژی تراکم (kN.m^3)				مخلوط رس (%)، ماسه (%)، شن (%)			
			۲۶۸۰	۱۲۰۰	۵۹۰	۳۷۰				
R^2	b_1	a_1	γ_{dmax_3} (kN/m^3)	γ_{dmax_3} (kN/m^3)	γ_{dmax_3} (kN/m^3)	γ_{dmax_3} (kN/m^3)	شن (%)	ماسه (%)	رس (%)	مخلوط
۰/۸۴	۱۲/۱۵	۱/۱۳	۲۱/۳۹	۱۹/۶	۱۹/۱۸	۱۹/۱۴	۷۷	۲۰	۳	A
۰/۹۹	۱۴/۸۸	۰/۸۹	۲۱/۸۷	۲۱/۳۲	۲۰/۵۶	۲۰/۱۳	۷۲	۲۰	۸	B
-۰/۹۶	۱۹/۵۲	۰/۳۹	۲۲/۵۵	۲۲/۳۷	۲۱/۹۴	۲۱/۸۳	۶۵	۲۰	۱۵	C
۰/۹۸	۱۸/۷۶	۰/۴۷	۲۲/۴۷	۲۲/۰۹	۲۱/۶۶	۲۱/۵۹	۵۵	۲۰	۲۵	D
۰/۹۸	۱۷/۸۷	۰/۵۷	۲۲/۴۶	۲۱/۸۸	۲۱/۵	۲۱/۳۳	۴۵	۲۰	۳۵	E
۰/۹۹	۱۸/۰۱	۰/۵۴	۲۲/۳۱	۲۱/۷۵	۲۱/۴۶	۲۱/۲۲	۳۵	۲۰	۴۵	F



شکل ۴. پارامتر b در مقابل درصد رس



شکل ۳. پارامتر a در مقابل درصد رس



شکل ۵. رابطه بین حداکثر وزن مخصوص خشک و مقدار رس

کنترل داده ها

برای ارزیابی صحت معادله های تخمین زده شده مقایسه ای بین مقادیر حاصل از معادله چهار و نیز مقادیر بدست آمده از آزمونهای آزمایشگاهی صورت گرفت. برای این منظور مقدار وزن مخصوص خشک حداکثر و مقدار رطوبت بهینه مخلوطهای جدول یک با استفاده از معادله چهار برای انرژیهای متفاوت تخمین زده شد. سپس مقایسه ای بین این مقادیر پیش بینی شده و مقادیر حاصل از آزمایش صورت گرفت. نتایج حاصل از این مقایسه در جدول ۵ آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود داده ها دارای دقت بالا و قابل قبولی می باشند. و تنها در مخلوط نوع اول تفاوت بیشتری بین



مقادیر پیش بینی شده و بدست آمده از آزمایشگاه مشاهده می شود. علت این تفاوت را می توان به تاثیر گذاری عوامل دیگر، مانند شکل و مقاومت دانه ها در تراکم این نوع مخلوطها دانست.

جدول ۵. مقایسه عددی مقدار حداکثر وزن مخصوص خشک و مقدار رطوبت بهینه شش مخلوط

انرژی تراکم (kN.m/m^3)				ضرایب محاسبه شده با استفاده از معادله های ۲ و ۳		مخلوط
۵۹۰		۳۷۰		b_1	a_1	
مقدار واقعی منهای تخمین زده شده	تخمین زده شده	مقدار واقعی منهای تخمین زده شده	تخمین زده شده			
$\Delta \gamma_{dmax_3}$ (kN/m^3)	γ_{dmax_3} (kN/m^3)	$\Delta \gamma_{dmax_3}$ (kN/m^3)	γ_{dmax_3} (kN/m^3)			
-۰/۶۱	۱۹/۷۹	-۰/۱۶	۱۹/۳	۱۳/۰۶	۱/۰۵	A
-۰/۰۱	۲۰/۵۷	-۰/۰۶	۲۰/۱۹	۱۵/۳۳	۰/۸۲	B
۰/۸۶	۲۱/۰۸	۱/۰۷	۲۰/۷۶	۱۶/۷۸	۰/۶۷	C
۰/۱۷	۲۱/۴۹	۰/۳۶	۲۱/۲۳	۱۷/۹۶	۰/۵۵	D
-۰/۲۶	۲۱/۷۶	-۰/۲۱	۲۱/۵۴	۱۸/۷۳	۰/۴۸	E
-۰/۰۵	۲۱/۹۶	-۰/۵۵	۲۱/۷۷	۱۹/۳۱	۰/۴۲	F

جدول ۵. ادامه

انرژی تراکم (kN.m/m^3)				ضرایب محاسبه شده با استفاده از معادله های ۲ و ۳		مخلوط
۲۶۸۰		۱۲۰۰		b_1	a_1	
مقدار واقعی منهای تخمین زده شده	تخمین زده شده	مقدار واقعی منهای تخمین زده شده	تخمین زده شده			
$\Delta \gamma_{dmax_3}$ (kN/m^3)	γ_{dmax_3} (kN/m^3)	$\Delta \gamma_{dmax_3}$ (kN/m^3)	γ_{dmax_3} (kN/m^3)			
۰/۰۲	۲۱/۳۷	-۰/۹۳	۲۰/۵۳	۱۳/۰۶	۱/۰۵	A
۰/۰۶	۲۱/۸۱	-۰/۱۶	۲۱/۱۶	۱۵/۳۳	۰/۸۲	B
۰/۴۵	۲۲/۱	۰/۸۱	۲۱/۵۶	۱۶/۷۸	۰/۶۷	C
۰/۱۴	۲۲/۳۳	۰/۲۱	۲۱/۸۸	۱۷/۹۶	۰/۵۵	D
-۰/۰۲	۲۲/۴۸	-۰/۲۲	۲۲/۱	۱۸/۷۳	۰/۴۸	E
-۰/۲۸	۲۲/۵۹	-۰/۵۱	۲۲/۲۶	۱۹/۳۱	۰/۴۲	F

مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده در جدول ۵ نشان می دهد مقدار خطا در پیش بینی مقدار وزن مخصوص خشک مخلوطهای نوع اول بیشتر از بقیه مخلوطها می باشد. همانطور که اشاره شد در این نوع مخلوطها علاوه بر عوامل تاثیر گذاری مانند انرژی تراکم و مقدار ریزدانه موجود در مخلوط، دلیل نسبت بالای دانه های شن عواملی همچون شکل دانه ها نیز در بدست آمدن وزن مخصوص خشک حداکثر موثر است. همچنین مشاهده می شود مقدار وزن مخصوص خشک حداکثر پیش بینی شده در مخلوطهای نوع سوم کمتر از مقادیر واقعی می باشد. در مخلوطهای نوع سوم هر چه انرژی تراکم بالاتر می رود میزان تفاوت بین وزن مخصوص خشک حداکثر پیش بینی شده و واقعی کمتر می شود.

نتیجه گیری

نتایج بدست آمده از این پژوهش را می توان بصورت زیر بیان نمود:
طبق بررسیهای صورت گرفته بین وزن مخصوص خشک حداکثر و لگاریتم انرژی یک رابطه خطی وجود دارد.
با افزایش مقدار انرژی تراکمی وارده وزن مخصوص خشک حداکثر افزایش می یابد.
در مقادیر کم درصد رس مخلوطها، روند افزایش وزن مخصوص خشک در مقابل افزایش لگاریتم انرژی با شیب تندتری صورت می گیرد.



در تمام انرژی های تراکم نقطه بهینه حداکثر وزن مخصوص خشک ما بین مقدار رس ۱۵-۲۰ درصد می باشد. در این محدوده خاکهای شنی رس دار دارای حداکثر وزن مخصوص خشک بالایی هستند. در نمودار حداکثر وزن مخصوص در برابر درصد رس قسمت اول منحنی شیبی تند تا رسیدن به مقدار رس ۱۵-۲۰ درصد را طی می کند و بعد از این محدوده نمودار سیر نزولی و با شیب کند به خود می گیرد. در انرژیهای تراکمی پایین مانند انرژی کمتر از استاندارد اثر مقدار رس بهینه بارزتر است. ولی در انرژیهای بالا که در اکثر کارهای اجرایی با آن سرو کار داریم این اثر کم رنگتر می شود. روابط ریاضی بدست آمده بر اساس مطالعه بر روی خاکهای GC در چهار انرژی تراکمی می باشند. مقادیر بدست آمده از این روابط، دقت مناسب با داده های آزمایشگاهی دارند.

مراجع

1. Day, R. W., "Relative compaction of fill having oversize particles." J. Geotech. Engrg., ASCE, 115(10), 1487-1491., (1998).
2. Hilf, J., "A rapid method of construction control for embankments of cohesive soil",. Engrg. Monograph No. 26, U.S Bureau of Reclamation, Denver, colo. (1956).
3. Ring, G., Sallberg, J., and Collins, W., "Correlation of compaction and classification testdata",. Hwy. Res. Bull. No. 325, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 55-75. (1962).
4. Ramiah, B., Viswanath, V., and Krishnamurthy, H., "Interrelationship of compaction and index properties",. Proc. 2nd Southeast Asian Conf. on soil Engrg., A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 577-587. (1970).
5. Wang, M., and Huang, C., "Soil compaction and Permeability Prediction models",. J. Envir. Engrg., ASCE, 110(6), 1063-1083. (1984).
6. Boutwell, G., "Effects of variation of fill construction on the material properties and the subsequent fill performance",. Independent study Rep., School of Civ. Engrg., Georgia Institute of Technology, Atlanta, Ga. (1961).
7. Blotez, L. and Benson, C. and Boutwell, G., "Estimating Optimum Water Content and Maximum Dry Unit Weight for Compacted Clays",. J Geotech. Engrg., ACSE, 124(9), 907-912. (1998).
8. Hausmann, Manfred. R. (1990). Engineering Principles of Ground Modification. McGraw- Hill, New York.
9. "Laboratory soils testing, " Engineer Manual EM-1110-2-1906",. U.S. Army Corps of Engineers, Dept. of the Army, Washington, D.C. (1970).

۱۰. نصیری منش، آیدین - بررسی اثر درصد وزنی ریزدانه در توده خاکهای درشت دانه بر روی نرخ تغییرات رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک حداکثر در انرژیهای تراکمی مختلف، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) ۱۳۸۶، پایان نامه کارشناسی ارشد خاک و پی، استاد راهنما: دکتر مهربان جسمانی